不同饲料添加剂对杜寒杂交肉羊体脂脂肪酸组成和氧化稳定性的影响[1]

刘旺景　敖长金*　丁　赫　哈斯额尔敦　丹　妮　李书仪　李　英　张佐忠

（内蒙古农业大学动物科学学院，呼和浩特 010018）

摘　要：本试验旨在研究不同饲料添加剂对杜寒杂交肉羊体脂脂肪酸组成和氧化稳定性的影响。选取 30 只健康、体重[（42.5±3.1） kg]相近的 6 月龄杜寒杂交 F1 代肉羊，采用单因素完全随机区组试验设计，共分为 3 组，每组 10 只。对照组（G1 组）试验羊饲喂基础饲粮，试验 1 组（G2 组）试验羊饲喂添加了沙葱粉的基础饲粮，沙葱粉按照每只每天 20 g 的量添加，试验组（G3 组）试验羊饲喂添加了微生物发酵饲料的基础饲粮，微生物发酵饲料按照每只每天 100 g 的量添加。试验期为 75 d，其中预试期为 15 d，正试期为 60 d。在饲养试验结束后，每组随机选取 3 只羊进行屠宰，分别从肾脏周围、腹部皮下以及尾部采集脂肪样品，测定其脂肪酸组成以及丙二醛（MDA）含量和超氧化物歧化酶（SOD）活性。结果显示：与 G1 组相比，1)G2 组和 G3 组肉羊平均日增重显著提高（$P<0.05$），料重比显著降低（$P<0.05$）；2）G2 组肾周、腹部皮下以及尾部脂肪组织中亚油酸（C18:2*cis*-6）、α-亚麻酸（C18:3n-3）、二十碳五烯酸（EPA，C20:5n-3）、二十二碳六烯酸（DHA，C22:6n-3）、多不饱和脂肪酸（PUFA）、n-6 PUFA 的含量以及 PUFA/饱和脂肪酸（SFA）的值显著提高（$P<0.05$），硬脂酸（C18:0）的含量显著降低（$P<0.05$），G3 组腹部皮下和尾部脂肪组织中 DHA 的含量显著提高（$P<0.05$），肾周脂肪组织中单不饱和脂肪酸（MUFA）和 C18:0 的含量显著降低（$P<0.05$）；3）G2 组和 G3 组尾部脂肪组织中 n-6 PUFA 的含量以及 n-6/n-3 的值显著提高（$P<0.05$），G2 组肾周脂肪组织中 n-3 PUFA 的含量显著提高（$P<0.05$），G3 组肾周脂肪组织中 PUFA/SFA 的值显

收稿日期：2018-01-29

基金项目：内蒙古自治区重大专项“中国-加拿大肉羊养殖及饲草料品种开发与利用”

作者简介：刘旺景（1991-），男，山西孝义人，博士研究生，研究方向为动物营养与饲料。E-mail：wangjingliu2016@foxmail.com

*通信作者：敖长金，教授，博士生导师，E-mail： changjinao@aliyun.com

著降低（P<0.05）；4）G2 组和 G3 组腹部皮下和肾周脂肪组织中 SOD 的活性显著提高（P<0.05），MDA 的含量显著降低（P<0.05）；5）肉羊腹部皮下（R^2=0.967）、尾部（R^2=0.965）和肾周脂肪组织（R^2=0.992）中 MDA 含量和 SOD 活性与 PUFA 沉积量之间存在线性关系（P<0.001），其中 MDA 对多元回归方程的贡献为负增加，而 SOD 为正增加。综上所述，饲粮中添加沙葱粉和微生物发酵饲料均能够提高舍饲杜寒杂交肉羊的生长性能；饲粮中添加沙葱粉可有效改善杜寒杂交肉羊体脂脂肪酸组成，并可提高脂肪氧化稳定性，改善脂肪品质；饲粮中添加微生物发酵饲料对杜寒杂交肉羊体脂脂肪酸组成改善效果欠佳，但可提高脂肪的氧化稳定性。

关键词：饲料添加剂；肉羊；脂肪品质；抗氧化物；氧化稳定性；多不饱和脂肪酸

中图分类号：S816　　　　文献标识码：A　　　　文章编号：

羊在天然放牧时的行为习性和采食远比舍饲时复杂而丰富，使得在上述 2 种情况下饲养的肉羊在肉品质上存在着明显的差异，其差异主要体现在肉品脂肪酸组成以及抗氧化物含量上[1]。基于目前我国的国情，肉羊的放牧模式被逐步限制[2]，而舍饲或半舍饲快速育肥已经成为当今养羊业的主流模式。在这种模式下，精饲料的过度使用，加之运动量的不足，导致羊体脂肪的过度沉积、羊肉品质下降、饲料报酬低和生产效益受损等一系列问题。家畜体脂脂肪酸的构成是其肉类独特风味的基础，羊肉的风味主要与其体脂内短链支链脂肪酸、硬脂酸（C18:0）及不饱和脂肪酸（UFA）氧化降解产物有关[3-4]。大量研究表明，脂肪氧化是肉类在贮藏过程中品质恶化的主要原因之一，其中最重要的是促氧化成分和抗氧化成分之间的平衡[5-6]。多不饱和脂肪酸（PUFA）是肌肉细胞膜脂质氧化反应启动和加速的优选底物，如同金属离子、血红素蛋白和活性氧一样，是一种氧化强化剂，作为肉类产品中的一种高度不饱和成分，极易受氧化攻击而损伤，特别是磷脂极性部分含有的多不饱和脂肪酸，比例最高、氧化敏感性很强[7-8]。氧化导致肉品的风味和营养价值(主要是不饱和脂肪酸和脂溶性维生素)严重损失[9-10]。肉品在贮存过程中脂肪的氧化程度直接决定着肉品的感官品质，脂肪氧化不仅加速肉品的外观褪色，同时也产生特殊异味，使得肉品的可接受性降低[11]。饲粮营养素组

成对脂肪的代谢、沉积以及抗氧化起着关键性的作用[12]，因此，采用营养调控的手段是解决目前舍饲羊肉品质下降行之有效的方法。

天然植物提取物和微生物发酵饲料都能不同程度地改善肉品脂肪酸组成和氧化稳定性，进而提高其货架保鲜期。沙葱（*Allium mongolicum* Regel）又名蒙古韭，是生长在沙漠、荒地等干旱地区的天然优质牧草[13]。沙葱及其提取物对动物机体具有良好的抗氧化活性，同时对提升畜产品品质也有积极的作用。沙葱及其总黄酮能够显著提高肉羊[14]和小白鼠[15]血清中过氧化氢酶（CAT）、总超氧化物歧化酶（T-SOD）的活性，降低肝脏组织中丙二醛（MDA）的含量，提高其机体抗氧化能力。沙葱及其提取物对羊肉脂肪品质有良好的改善作用[16]。沙葱可提高肉羊肌内脂肪中 PUFA、共轭亚油酸（CLA）的含量，降低 C18:0 的含量[17]。沙葱及其提取物可降低舍饲肉羊背最长肌中饱和脂肪酸（SFA）的含量，同时提高单不饱和脂肪酸（MUFA）以及 PUFA 的含量，从而提高羊肉品质[18]。微生物发酵饲料是一类无毒、无残留的绿色饲料添加剂，饲粮中添加微生物发酵饲料后其营养价值得到明显改善，进而影响肉品脂肪酸组成。王莉梅[19]研究发现，小尾寒羊饲粮中添加发酵饲料能够显著提高肌肉组织和肾脂中油酸（C18:1*cis*-9）和α-亚麻酸（C18:3n-3）的含量，进而改善羊肉脂肪酸组成。Lin 等[20]研究发现，杜×长×大三元杂交公猪饲粮中添加发酵饲料能够显著提高肌肉脂肪中 C18:3n-3、MUFA 的含量，提高了肉品营养价值；同时，降低了硫代巴比妥酸反应物值，减缓了脂肪氧化速率，从而延长了猪肉的货架期。本试验在课题组前期研究的基础上，以杜寒杂交 F1 代肉羊为动物模型，探究肉羊饲粮中分别添加适量沙葱粉和微生物发酵饲料对其各部位脂肪组织脂肪酸组成以及氧化稳定性的影响，并揭示 PUFA 在脂肪组织中的沉积量与氧化性能指标[MDA 含量和超氧化物歧化酶（SOD）活性]之间的关联性，以期为新型饲料添加剂在舍饲肉羊饲养中的进一步应用提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 试验时间与地点

试验于 2017 年 7—10 月在内蒙古农业大学“中加肉羊养殖与示范项目”基地进行。

1.2 试验动物与分组

选取 30 只健康、体重[（42.5±3.1） kg]相近的 6 月龄杜寒杂交 F1 代肉羊，采用单因素完全随机区组试验设计，共分为 3 组，每组 10 只。基础饲粮为育肥羊颗粒型全混合日粮（TMR），由内蒙古优牧特农牧科技股份有限公司生产。对照组（G1 组）试验羊饲喂基础饲粮，试验 1 组（G2 组）试验羊饲喂添加了沙葱粉的基础饲粮，沙葱粉按照每只每天加补 20 g（此添加量的设定参考文献[21]）的量添加，试验 2 组（G3 组）试验羊饲喂添加了微生物发酵饲料的基础饲粮，微生物发酵饲料按照每只每天 100 g（厂家推荐添加量）的量添加。沙葱粉采购自内蒙古阿拉善盟浩海生物科技有限公司，微生物发酵饲料为驻马店吉兴隆牧业生物科技有限公司产品，含有生物活菌（枯草芽孢杆菌、光合细菌、酵母菌、双歧杆菌、黑曲霉菌等生物活性成分）及其发酵产物（氨基酸、有机酸、菌体蛋白、纤维二糖、双歧因子及免疫、促生长因子）。基础饲粮组成及营养水平见表 1。

表 1 基础饲粮组成及营养水平（干物质基础）

Table 1 Composition and nutrient levels of the basal diet (DM basis) %

项目 Items	含量 Content
原料 Ingredients	
羊草 *Leymus chinensis*	32.00
苜蓿 Alfalfa	17.60
破碎玉米 Cracked corn	25.00
小麦麸 Wheat bran	2.88
向日葵仁饼 Sunflower seed meal	17.23
豌豆茎叶 Pea stalk	2.77
磷酸氢钙 $CaHPO_4$	0.79
食盐 NaCl	0.73
预混料 Premix[1)]	1.00

合计 Total	100.00
营养水平 Nutrient levels2)	
消化能 DE/（MJ/kg）	16.58
粗蛋白质 CP	16.48
粗脂肪 EE	3.12
中性洗涤纤维 NDF	36.63
酸性洗涤纤维 ADF	25.20
钙 Ca	1.22
磷 P	0.47

1)预混料为每千克饲粮提供 The premix provided the following per kg of the diet：Zn（as zinc sulfate）30 mg，Fe（as ferrous sulfate）26 mg，Cu（as copper sulfate）7.9 mg，Mn（as manganese sulfate）30 mg，I（as potassium iodide）5.4 mg，Co（as Cobalt sulfate）0.1 mg，VA 3 500 IU，VE 25 IU，VD_3 1 100 IU。

2)消化能为估测值，其余为实测值。DE was an estimated value, while the others were measured values.

1.3 饲养管理

试验前对试验羊进行驱虫，对畜舍进行统一的消毒处理。整个试验持续 75 d，其中预试期为 15 d，正试期为 60 d。正试期每天在 07:00 和 18:00 各饲喂 1 次，采食时间持续 1.5 h，在每天的 08:30 和 19:30 收集剩料，试验全期自由采食、饮水。试验期间各组的管理模式、饲养方式以及环境条件一致。

1.4 样品采集

在饲养试验结束后，每组随机选取 3 只体重相近的羊只，经检疫合格之后进行屠宰（宰前 24 h 禁食，2 h 禁水）。宰后分别从腹部皮下、尾部中央以及肾脏周围中取脂肪样品，-20 ℃冰箱保存。

1.5 指标测定

1.5.1 生长性能指标的测定

正试期内对剩料进行称重并记录，具体做法为每天饲喂前记录饲喂量，根据每组试验羊

每天的实际采食量，计算平均日采食量。每 15 d 对试验羊进行 1 次称重，记录体重变化。

1.5.2 脂肪样品脂肪酸组成的测定

称取 60~70 mg 脂肪样品，加入 2 mL 氢氧化钠-甲醇混合溶液，并加入 100 μL 内标液，将脂肪样品于 85 ℃恒温水浴 30 min，再加入 3 mL 三氟化硼-甲醇混合溶液，于 85 ℃恒温水浴 30 min,冷却至室温加入 1 mL 正己烷振荡萃取静置，取 100 μL 上清液，用正己烷定容至 1 mL，上机测试。将制备好的脂肪酸甲酯用气相色谱仪（Agilent GC890N）进行分析。毛细管色谱柱：TG-5MS（30 m×0.25 mm×0.25 μm）；柱温箱温度：起始温度 80℃，保持 1 min，以 10 ℃/min 的速率升至 200 ℃，再以 5 ℃/min 的速率升至 250 ℃，最后以 2 ℃/min 的速率升至 270 ℃，保持 3 min；载气：氦气；载气流速：1.2 mL/min；进样口温度：290 ℃，不分流进样；离子源温度：280 ℃；传输线温度：280℃；进样量：1 μL。

1.5.3 脂肪样品中 MDA 含量、SOD 活性的测定

3 个部位的脂肪样品中 MDA 含量、SOD 活性均分别采用南京建成生物工程研究所生产的 MDA 测试盒（货号：A003-1）、SOD 测试盒（货号：A001-1）严格按照说明书进行测定。脂肪组织中的蛋白质含量采用南京建成生物工程研究所生产的考马斯亮蓝试剂盒在 596 nm 下测定。

1.6 统计分析

利用 Excel 2007 软件进行数据整理，采用 SAS 9.2 软件中的 ANOVA 程序进行单因素方差分析，$P<0.05$ 为差异显著，差异显著时采用 Duncan 氏法进行多重比较。各部位脂肪组织中 MDA 含量和 SOD 活性与 PUFA 沉积量之间的相关性用多元回归分析模型分析。

2 结 果

2.1 不同饲料添加剂对杜寒杂交肉羊生长性能的影响

由表 2 可知，各组间平均日采食量无显著差异（$P>0.05$）；平均日增重，G2 组和 G3 组显著高于 G1 组（$P<0.05$），G2 组和 G3 组之间无显著差异（$P>0.05$）；G2 组和 G3 组料重比

显著低于 G1 组（P<0.05），G2 组和 G3 组之组间无显著差异（P>0.05）。

表 2　不同饲料添加剂对杜寒杂交肉羊生长性能的影响

Table 2　Effects of different feed additives on growth performance of Dorper×thin-tailed *Han* crossbred mutton lambs

项目 Items	组别 Groups G1	G2	G3	SEM	P 值 P-value
初始体重 IBW/kg	42.58±2.78	42.63±3.57	42.95±3.40	1.61	0.730
平均日采食量 ADFI/(kg/d)	1.32±0.19	1.33±0.19	1.28±0.13	0.13	0.990
平均日增重 ADG/(kg/d)	0.19±0.06^{b}	0.23±0.03^{a}	0.23±0.02^{a}	0.02	0.021
料重比 F/G	6.93±0.99^{a}	5.70±1.01^{b}	5.56±1.28^{b}	0.11	0.038

同行数据肩标不同字母表示差异显著（P<0.05），相同字母或无字母表示差异不显著（P>0.05）。下表同。

In the same row, values with different letter superscripts were significantly different (P<0.05), while with same or no letter superscripts were not significantly different (P>0.05). The same as below.

2.2　不同饲料添加剂对杜寒杂交肉羊腹部皮下脂肪组织脂肪酸组成、MDA 含量和 SOD 活性的影响

由表 3 可知，本次试验从杜寒杂交肉羊腹部皮下脂肪组织中共检出 21 种脂肪酸，其中含量最高的 SFA 为棕榈酸（C16:0），其次是 C18:0，而在 MUFA 组成中含量最高的是 C18:1*cis*-9。PUFA 组成中含量最高的为亚油酸（C18:2*cis*-6），其次是花生四烯酸（C20:4n-6）、C18:3n-3 和二十二碳六烯酸（DHA，C22:6n-3）。

G2 组中 C18:0 的含量显著低于 G1 组和 G3 组（P<0.05），而 G2 组中 C18:2*cis*-6、C18:3n-3、二十碳五烯酸（EPA，C20:5n-3）和 DHA 的含量显著高于 G1 组和 G3 组（P<0.05），G1 组

和 G3 组之间差异不显著（*P*>0.05）；G2 组中 SFA 的含量显著低于 G1 组和 G3 组（*P*<0.05），PUFA、n-6 PUFA 的含量和 PUFA/SFA 的值则显著高于 G1 组和 G3 组（*P*<0.05），G1 组和 G3 组之间差异不显著（*P*>0.05）；G3 组中 MUFA 的含量显著高于 G1 组和 G2 组（*P*<0.05）。

G2 组中 MDA 的含量显著低于 G1 组和 G3 组（*P*<0.05），G3 组中 MDA 的含量显著低于 G1 组（*P*<0.05）；G2 组中 SOD 的活性显著高于 G1 组和 G3 组（*P*<0.05），G3 组中 SOD 的活性显著高于 G1 组（*P*<0.05）。

表 3　不同饲料添加剂对杜寒杂交肉羊腹部皮下脂肪组织脂肪酸组成、MDA 含量和 SOD 活性的影响

Table 3　Effects of different feed additives on fatty acid composition, MDA content and SOD activity in abdominal subcutaneous adipose tissue of Dorper×thin-tailed *Han* crossbred mutton lambs

项目	组别 Groups			SEM	*P* 值
Items	G1	G2	G3		*P*-Value
脂肪酸 Fatty acids/（mg/g）					
葵酸 C10:0	0.66	0.68	0.65	0.011	0.191 0
月桂酸 C12:0	0.74	0.76	0.76	0.022	0.828 0
银杏酸 C13:0	0.34	0.33	0.31	0.010	0.172 0
肉豆蔻酸 C14:0	9.36^{b}	9.31^{b}	10.30^{a}	0.096	0.005 0
肉豆蔻油酸 C14:1	0.51^{b}	0.76^{a}	0.49^{b}	0.019	<0.000 1
十五烷酸 C15:0	2.44	2.51	2.57	0.057	0.335 0
棕榈酸 C16:0	42.85^{a}	35.92^{c}	51.22^{b}	0.460	<0.000 1
棕榈酸 C16:1	8.29^{b}	8.24^{b}	10.11^{a}	0.069	0.000 1
十七烷酸 C17:0	10.25	10.61	9.82	0.230	0.130 0
十七碳一烯酸 C17:1	3.39^{b}	4.60^{a}	2.63^{c}	0.180	0.000 7
硬脂酸 C18:0	27.50^{b}	18.10^{a}	28.15^{b}	0.910	0.000 4
油酸 C18:1*cis*-9	27.50	26.43	28.15	0.790	0.363 0
亚油酸 C18:2*cis*-6	17.83^{b}	24.87^{a}	17.89^{b}	0.740	0.000 8
α 6 亚麻酸 C18:3n-3	2.07^{b}	2.46^{a}	2.18^{b}	0.064	0.013 0
γ-亚麻酸 C18:3n-6	0.130^{a}	0.130^{a}	0.097^{b}	0.005	0.005 2
花生一烯酸 C20:1	0.32^{a}	0.33^{a}	0.28^{b}	0.008	0.009 5
花生二烯酸 C20:2	0.057^{b}	0.098^{a}	0.063^{b}	0.003	0.000 7

二十碳三烯酸 C20:3n-6	0.037^{c}	0.058^{a}	0.046^{b}	0.001	0.000 1
花生四烯酸 C20:4n-6	4.56^{b}	5.63^{a}	4.56^{b}	0.009	0.001 8
二十碳五烯酸 C20:5n-3 (EPA)	0.15^{b}	0.21^{a}	0.15^{b}	0.005	0.000 2
二十二碳六烯酸 C22:6n-3 (DHA)	0.67^{c}	0.95^{a}	0.77^{b}	0.016	<0.000 1
饱和脂肪酸 SFA	93.75^{b}	72.70^{c}	103.08^{a}	2.34	0.000 3
单不饱和脂肪酸 MUFA	40.01^{b}	30.56^{c}	42.32^{a}	0.60	<0.000 1
多不饱和脂肪酸 PUFA	22.23^{b}	33.49^{a}	25.39^{b}	0.93	0.000 4
n-6 多不饱和脂肪酸 n-6 PUFA	4.72^{b}	5.65^{a}	4.70^{b}	0.10	0.000 7
n-3 多不饱和脂肪酸 n-3 PUFA	2.29	2.72	2.74	0.22	0.320 0
多不饱和脂肪酸/饱和脂肪酸 PUFA/SFA	0.27^{b}	0.47^{a}	0.25^{b}	0.03	0.001 9
n-6/n-3	2.07	2.14	1.72	0.13	0.135 0
丙二醛 MDA/（nmol/mg prot）	106.54^{a}	83.12^{c}	92.77^{b}	1.25	0.000 3
超氧化物歧化酶 SOD/（U/mg prot）	175.67^{c}	207.67^{a}	182.21^{b}	1.10	<0.000 1

2.2 不同饲料添加剂对杜寒杂交肉羊尾部脂肪组织脂肪酸组成、MDA 含量和 SOD 活性的影响

由表 4 可知，本次试验从杜寒杂交肉羊尾部脂肪组织中共检出 21 种脂肪酸，其中含量最高的 SFA 为 C16:0，其次是 C18:0，而在 MUFA 组成中 C18:1*cis*-9 的含量最高。PUFA 中含量最高的为 C18:2*cis*-6，其次是 C20:4n-6、C18:3n-3 和γ-亚麻酸（C18:3n-6）。

G2 组中 C18:0 的含量显著低于 G1 组和 G3 组（$P<0.05$），G3 组中 C18:0 的含量低于 G1 组，但差异不显著（$P<0.05$）。G2 组中 C18:2*cis*-6、C18:3n-3、C18:3n-6、EPA 和 DHA 的含量显著高于 G1 组和 G3 组（$P<0.05$），G1 组和 G3 组中，除了 DHA 的含量差异显著（$P<0.05$）外，其余 PUFA 的含量差异均不显著（$P>0.05$）。G2 组中 SFA 的含量显著低于 G1 组和 G3 组（$P<0.05$），G1 组和 G3 组之间差异不显著（$P>0.05$）；而 G2 组中 MUFA、PUFA、n-6 PUFA、n-3 PUFA 的含量和 PUFA/SFA 的值显著高于 G1 组和 G3 组（$P<0.05$），G3 组中除了 n-6 PUFA 的含量和 n-6/n-3 的值显著高于 G1 组（$P<0.05$）外，其余指标在 2 组之间差异均不显著

（P>0.05）。

G2 组中 MDA 的含量显著低于 G1 组和 G3 组（P<0.05），G3 组中 MDA 的含量显著低于 G1 组（P<0.05）；G2 组中 SOD 的活性显著高于 G1 组和 G3 组（P<0.05），G3 组和 G1 组之间无显著差异（P>0.05）。

表 4　不同饲料添加剂对杜寒杂交肉羊尾部脂肪组织脂肪酸组成、MDA 含量和 SOD 活性的影响

Table 4　Effects of different feed additives on fatty acid composition, MDAcontent and SOD activity in tail adipose tissue of Dorper×thin-tailed *Han* crossbred mutton lambs

项目	组别 Groups			SEM	*P* 值
Items	G1	G2	G3		*P*-value
脂肪酸 Fatty acids/（mg/g）					
葵酸 C10:0	0.80	0.79	0.78	0.025	0.761 0
月桂酸 C12:0	0.58	0.61	0.58	0.027	0.308 0
银杏酸 C13:0	0.16	0.15	0.15	0.003	0.163 0
肉豆蔻酸 C14:0	9.35^{b}	9.29^{b}	10.13^{a}	0.120	0.004 7
肉豆蔻油酸 C14:1	0.61^{b}	0.83^{a}	0.62^{b}	0.022	0.000 7
十五烷酸 C15:0	3.07	3.49	2.99	0.140	0.098 8
棕榈酸 C16:0	38.75^{b}	35.02^{a}	38.64^{b}	0.590	0.006 6
棕榈酸 C16:1	8.48^{b}	9.42^{a}	9.18^{a}	0.160	0.015 4
十七烷酸 C17:0	10.53	10.03	10.10	0.170	0.153 0
十七碳一烯酸 C17:1	5.18^{b}	6.27^{a}	4.37^{c}	0.054	<0.000 1
硬脂酸 C18:0	22.01^{a}	15.57^{b}	21.04^{a}	0.800	0.002 6
油酸 C18:1*cis*-9	36.90	38.32	38.50	0.470	0.110 0
亚油酸 C18:2*cis*-6	22.70^{b}	25.67^{a}	22.56^{b}	0.660	0.027 2
α-亚麻酸 C18:3n-3	2.76^{b}	3.11^{a}	2.77^{b}	0.061	0.010 1
γ-亚麻酸 C18:3n-6	0.68^{b}	0.84^{a}	0.64^{b}	0.024	0.002 2
花生一烯酸 C20:1	0.46	0.48	0.42	0.034	0.507 0
花生二烯酸 C20:2	0.15^{b}	0.17^{a}	0.11^{c}	0.008	0.003 2
二十碳三烯酸 C20:3n-6	0.059^{b}	0.089^{a}	0.045^{c}	0.003	0.000 2
花生四烯酸 C20:4n-6	3.45^{b}	4.58^{a}	4.49^{a}	0.032	0.078 8
二十碳五烯酸 C20:5n-3 (EPA)	0.13^{b}	0.17^{a}	0.15^{ab}	0.006	0.009 8
二十二碳六烯酸	0.033^{c}	0.056^{a}	0.050^{b}	0.002	0.000 1

C22:6n-3 (DHA)					
饱和脂肪酸 SFA	84.26^{b}	75.00^{a}	84.39^{b}	1.150	0.002 3
单不饱和脂肪酸 MUFA	52.04^{b}	55.32^{a}	52.39^{b}	0.530	0.008 5
多不饱和脂肪酸 PUFA	28.97^{b}	34.39^{a}	30.15^{b}	0.570	0.001 2
n-6 多不饱和脂肪酸 n-6 PUFA	3.20^{c}	5.44^{a}	5.18^{b}	0.038	<0.000 1
n-3 多不饱和脂肪酸 n-3 PUFA	2.92^{b}	3.34^{a}	2.97^{b}	0.061	0.005 3
多不饱和脂肪酸/饱和脂肪酸 PUFA/SFA	0.35^{b}	0.46^{a}	0.36^{b}	0.010	0.000 3
n-6/n-3	1.09^{b}	1.63^{a}	1.75^{a}	0.036	<0.000 1
丙二醛 MDA/（nmol/mg prot）	117.97^{a}	83.67^{c}	110.82^{b}	2.04	<0.000 1
超氧化物歧化酶 SOD/（U/mg prot）	197.68^{b}	225.62^{a}	203.63^{b}	4.04	0.006 2

2.3 不同饲料添加剂对杜寒杂交肉羊肾周脂肪组织脂肪酸组成、MDA 含量和 SOD 活性的影响

由表 5 可知，本次试验从杜寒杂交肉羊肾周脂肪组织中共检出 21 种脂肪酸，其中含量最高的 SFA 为 C18:0，其次是 C16:0，而在 MUFA 组成中 C18:1*cis*-9 的含量最高。PUFA 中含量最高的为 C18:2*cis*-6，其次是 C20:4n-6、C18:3n-3 和花生一烯酸（C20:1）。

G2 组中 C18:0 的含量显著低于 G1 组和 G3 组（P<0.05），G1 组和 G3 组之间差异不显著（P>0.05）；G2 组中 C18:2*cis*-6、C18:3n-3、C18:3n-6、EPA 和 DHA 的含量显著高于 G1 组和 G3 组（P<0.05），除 C18:2*cis*-6 和 C18:3n-6 的含量在 G3 组中显著低于 G1 组（P<0.05）外，其余 PUFA 在 2 组之间差异均不显著（P>0.05）；G2 组中 SFA 的含量显著低于 G1 组和 G3 组（P<0.05），G1 组和 G3 组之间差异不显著（P>0.05）；而 G2 组中 MUFA、PUFA、n-6 PUFA、n-3 PUFA 的含量和 PUFA/SFA 的值显著高于 G1 组和 G3 组（P<0.05），除了 G3 组中 MUFA、PUFA 的含量和 PUFA/SFA 的值显著低于 G1 组（P<0.05）外，其余指标在 2 组之间差异均不显著（P>0.05）。

G2 组中 MDA 的含量显著低于 G1 组和 G3 组（P<0.05），G3 组中 MDA 的含量与 G1

组无显著差异（P>0.05）；G2 组和 G3 组中 SOD 的活性显著高于 G1 组（P<0.05），G3 组中 SOD 的活性显著高于 G2 组（P<0.05）。

表 5 不同饲料添加剂对杜寒杂交肉羊肾周脂肪组织脂肪酸组成、MDA 含量和 SOD 活性的影响

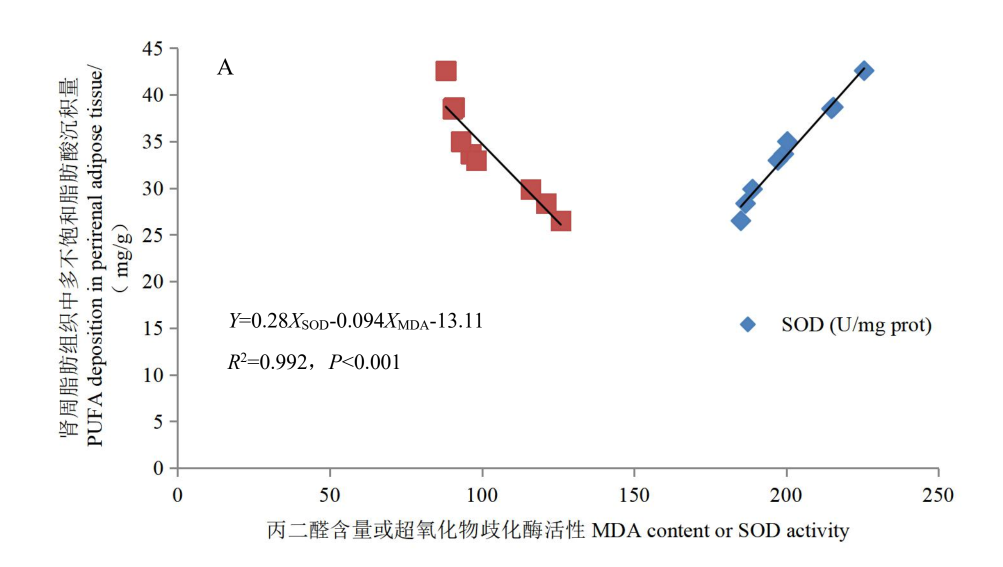
Table 5 Effects of different feed additives on fatty acid composition, MDA content and SOD activity in perirenal adipose tissue of Dorper×thin-tailed *Han* crossbred mutton lambs

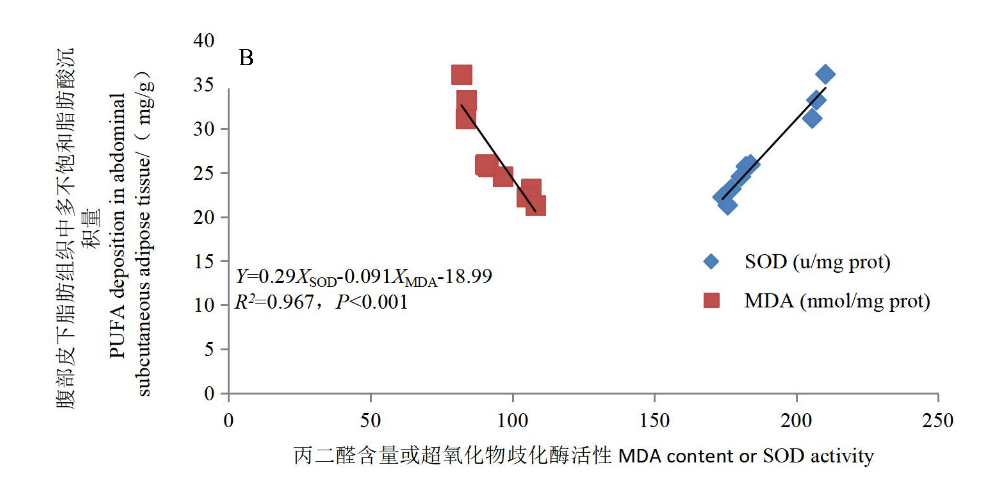
项目 Items	组别 Groups G1	G2	G3	SEM	*P* 值 *P*-value
脂肪酸 Fatty acids/（mg/g）					
葵酸 C10:0	0.38^{b}	0.46^{ab}	0.51^{a}	0.260	0.033 0
月桂酸 C12:0	0.24	0.29	0.24	0.021	0.263 0
银杏酸 C13:0	0.021	0.025	0.021	0.002	0.247 0
肉豆蔻酸 C14:0	6.98	7.67	7.76	0.240	0.122 0
肉豆蔻油酸 C14:1	0.13	0.20	0.41	0.170	0.527 0
十五烷酸 C15:0	1.03	1.12	1.03	0.038	0.224 0
棕榈酸 C16:0	31.59	31.24	32.21	0.590	0.529 0
棕榈酸 C16:1	4.28^{b}	5.02^{a}	3.49^{c}	0.210	0.006 2
十七烷酸 C17:0	6.42	6.99	6.70	0.140	0.001 4
十七碳一烯酸 C17:1	1.18	1.57	1.11	0.075	0.010 3
硬脂酸 C18:0	38.96^{a}	30.40^{c}	34.04^{b}	0.700	0.000 4
油酸 C18:1*cis*-9	35.75^{b}	42.26^{a}	31.04^{c}	1.180	0.001 6
亚油酸 C18:2*cis*-6	27.18^{b}	31.29^{a}	12.92^{c}	0.950	<0.000 1
α-亚麻酸 C18:3n-3	2.10^{b}	2.70^{a}	2.10^{b}	0.063	0.000 7
γ-亚麻酸 C18:3n-6	0.09^{b}	0.14^{a}	0.06^{c}	0.001	<0.000 1
花生一烯酸 C20:1	0.30	0.32	0.30	0.016	0.547 0
花生二烯酸 C20:2	0.093^{c}	0.10^{a}	0.083^{b}	0.002	0.000 9
二十碳三烯酸 C20:3n-6	0.045	0.048	0.039	0.003	0.213 0
花生四烯酸 C20:4n-6	4.29^{b}	5.42^{a}	4.27^{b}	0.018	0.002 3
二十碳五烯酸 C20:5n-3 (EPA)	0.06^{b}	0.17^{a}	0.07^{b}	0.006	<0.000 1
二十二碳六烯酸 C22:6n-3 (DHA)	0.019^{b}	0.058^{a}	0.016^{b}	0.003	<0.000 1
饱和脂肪酸 SFA	79.28^{a}	74.91^{b}	84.41^{a}	1.260	0.015 9
单不饱和脂肪酸 MUFA	41.67^{b}	49.38^{a}	36.37^{c}	1.250	0.001 0
多不饱和脂肪酸 PUFA	33.87^{b}	39.93^{a}	28.25^{c}	1.020	0.000 6
n-6 多不饱和脂肪酸 n-6 PUFA	4.42^{b}	5.60^{a}	4.36^{b}	0.019	<0.000 1
n-3 多不饱和脂肪酸 n-3 PUFA	2.17^{b}	2.93^{a}	2.19^{b}	0.066	0.000 3

多不饱和脂肪酸/饱和脂肪酸 PUFA/SFA	0.43[b]	0.53[a]	0.34[c]	0.017	0.000 7
n-6/n-3	2.04	1.91	2.00	0.063	0.397 0
丙二醛 MDA/（nmol/mg prot）	95.82[a]	89.77[b]	100.97[a]	1.920	0.002 2
超氧化物歧化酶 SOD/（U/mg prot）	198.93[b]	218.65[a]	286.88[c]	2.180	0.000 1

2.4 杜寒杂交肉羊各部位脂肪组织中 MDA 含量和 SOD 活性与 PUFA 沉积量之间的相关性分析

多元回归分析结果显示，杜寒杂交肉羊肾周脂肪组织中 MDA 含量和 SOD 活性与 PUFA 沉积量之间存在线性关系，决定系数（*R2*）为 0.992（*P*<0.001），其中 MDA 对多元回归方程的贡献为负增加，而 SOD 为正增加（图 1-A）；杜寒杂交肉羊腹部皮下脂肪组织（图 1-B）和尾部脂肪组织（图 1-C）中 MDA 含量和 SOD 活性与 PUFA 沉积量之间同样存在线性关系，R^2 分别为 0.967（*P*<0.001）和 0.965（*P*<0.001），其中 MDA 对多元回归方程的贡献为负增加，而 SOD 为正增加。





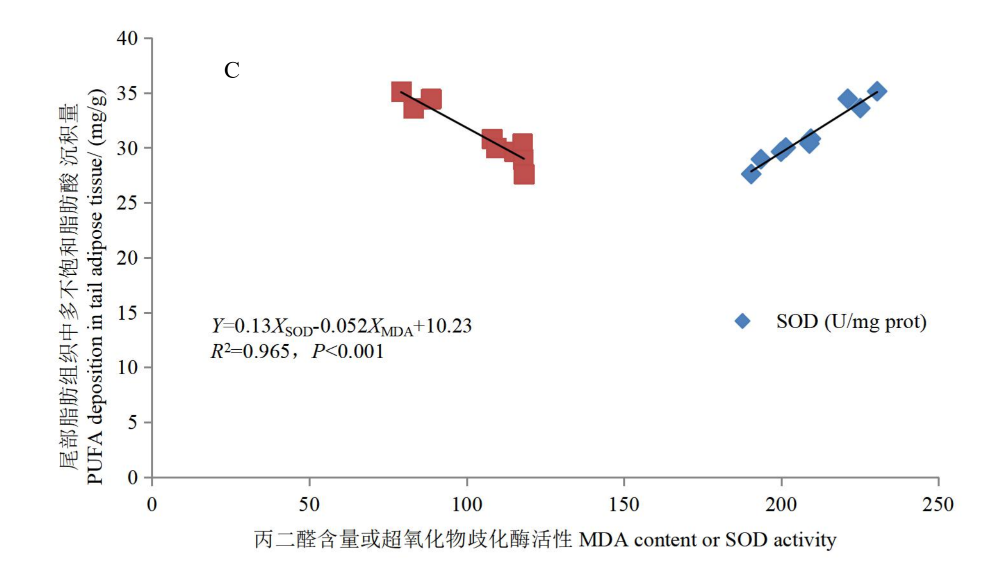


图 1　杜寒杂交肉羊肾周（A）、腹部皮下（B）以及尾部脂肪组织（C）中 MDA 含量和 SOD 活性与 PUFA 沉积量与之间的关系

Fig.1　Relationships between MDA content, SOD activity and PUFA deposition in perirenal adipose tissue （A）, abdominal subcutaneous adipose tissue (B) and tail adipose tissue (C) of Dorper×thin-tailed *Han* crossbred mutton lambs

3　讨　论

3.1　不同饲料添加剂对杜寒杂交肉羊生长性能的影响

现阶段在肉羊的集约化养殖中亟待解决的问题是，如何提高肉羊生产性能、降低料重比

进而降低饲料成本。卢媛[21]研究发现，饲粮中添加不同水平的沙葱冻干粉可显著提高杂种育成羊的日增重和屠宰率。贾鹏等[22]研究发现，在杜寒杂交肉羊饲粮中添加复合生物制剂能够显著提高其平均日增重，降低料重比。Mirzaei-Alamouti 等[23]研究表明，莫能菌素对羔羊干物质采食量无显著影响。本试验结果发现，沙葱粉和微生物发酵饲料对杜寒杂交肉羊平均日采食量无显著影响，说明沙葱粉和微生物发酵饲料对饲粮的适口性无显著影响，并能够显著提高肉羊生长性能。推测其可能的原因是，沙葱粉中的生物学活性成分和微生物发酵饲料中的益生菌能够减少肠道有害菌群的数量，增加纤维素、半纤维素分解菌等优势菌群在瘤胃和肠道的定植，最终抑制了有害菌群相对丰度的增加，改善肉羊瘤胃微生物区系，提高饲料转化率。

3.2 不同饲料添加剂对杜寒杂交肉羊各部位脂肪组织脂肪酸组成的影响

羊肉脂肪组织脂肪酸的组成是影响羊肉肉品嫩度、多汁性、风味、食用价值和营养价值的重要指标[24]。研究表明 C18:0 的含量与羊肉的膻味密切相关，特别是皮下脂肪中 C18:0 含量过高会加重羊肉的膻味，从而降低消费者的购买欲[25]。据报道，饲粮中添加沙葱黄酮能有效降低羊肉中 C18:0 的含量，说明沙葱黄酮对改善羊肉膻味具有一定的作用[26]。本次试验也得到类似的结果，可能是沙葱中含有的活性成分影响了与脂肪代谢相关酶的活性，进而影响与膻味有关脂肪酸的合成；G2 组腹部皮下、尾部和肾周脂肪组织中 C18:0 的含量均显著低于 G1 组和 G3 组，而 G3 组虽也低于 G1 组，但 2 组之间差异不显著，说明 2 种饲料添加剂对羊肉风味具有不同程度的改善作用。C18:2*cis*-6 是羊肉中重要的 PUFA，也是 CLA 的前体物，并具有防止动脉硬化、降低血脂等诸多保健功能[27]。研究显示，与对照组相比，沙葱水提物组和沙葱醇提物混合组蒙古羯羊皮下脂肪组织中 C18:2*cis*-6 的含量显著增加[28]。本次试验结果表明，与 G1 组相比，G2 组杜寒杂肉羊不仅皮下脂肪组织中 C18:2*cis*-6 的含量显著增加，而且其在尾部以及肾周脂肪组织中的含量也显著增加；G3 组肾周脂肪组织中 C18:2*cis*-6 的含量显著降低，其他部位的 C18:2*cis*-6 含量无显著变化。C18:3n-3 是合成 EPA、

二十二碳五烯酸（DPA，C22:5n-3）和 DHA 等重要 n-3 脂肪酸的前体物，人和动物体自身不能合成，必须从食物或者饲料中获取[29]。李艳等[30]从羊肉风味植物沙葱中提取到 14 种脂肪酸，发现 C16:0、C18:2*cis*-6 和 C18:3n-3 这 3 种脂肪酸含量较高。本研究表明，C18:3n-3 是 PUFA 组成中的主要脂肪酸之一，并且补饲沙葱粉的 G2 组杜寒杂交肉羊各部位脂肪组织中 C18:3n-3 的含量均最高，这可能是沙葱中的 C18:3n-3 直接在羔羊脂肪中沉积，但补饲微生物发酵饲料的 G3 组杜寒杂交肉羊各部位脂肪组织中 C18:3n-3 的含量与对照组相比无显著变化，这与王莉梅[19]研究结果相似。EPA 和 DHA 是 2 种对人体有重要作用的多不饱和脂肪酸，EPA 能够促进体内 SFA 的代谢，防止动脉粥样硬化，而 DHA 又称为是脑黄金，有助于幼儿视网膜及大脑发育[31]。赵国芬等[32]研究发现沙葱+油籽能够显著提高蒙古羯羊体脂中 EPA 的含量，该结果与本次试验结果相一致，即补饲沙葱粉可显著提高腹部皮下和尾部脂肪中 DHA 的含量，但对其他部位 DHA 的含量无显著影响。SFA 摄入过高可能引发冠心病，当 PUFA/SFA 的值大于 0.4[33]时则能减少机体循环系统中脂质水平，降低血浆胆固醇浓度，进而减少心血管疾病的发生几率[34]。本次研究发现，G2 组 3 个部位脂肪组织中 SFA 的含量均显著低于 G1 组和 G3 组，而 G3 组腹部皮下脂肪中 SFA 的含量较对照组显著提高，其他 2 个部位脂肪组织中 SFA 的含量也有提高趋势；G2 组中各部位脂肪组织中 PUFA/SFA 的值均大于推荐值 0.4，G3 组 3 个部位脂肪组织中 PUFA/SFA 的值均显著低于 G2 组且小于推荐值 0.4，G3 组肾周脂肪组织中 PUFA/SFA 的值显著低于 G1 组，其他部位无显著变化。沙葱粉中含有多种活性成分，这些成分具有很强的抗氧化性，因此推测其可能保护部分 PUFA 在瘤胃内的生物氢化，进而有更多的 PUFA 过瘤胃后被吸收进入体内并沉积到体脂中，这可能是补饲沙葱粉的 G2 组 PUFA/SFA 的值增加的原因。综上所述，饲粮中添加沙葱粉能够有效改善杜寒杂交肉羊体脂脂肪酸组成，改善脂肪品质，进而提高肉品质量和风味；添加微生物发酵饲料对杜寒杂交肉羊体脂脂肪酸组成改善效果欠佳。

3.3 不同饲料添加剂对杜寒杂交肉羊各部位脂肪组织中 MDA 含量和 SOD 活性的影响

机体在代谢过程中通过酶系统或非酶系统产生氧自由基，后者能攻击生物膜中的 PUFA，引发脂质过氧化作用，并形成脂质过氧化物，MDA 就是细胞膜脂质过氧化物的终产物之一，其含量可以间接反映脂质过氧化程度[35]。SOD 对机体氧化与抗氧化平衡起着至关重要的作用，此酶可以清除超氧阴离子自由基而保护细胞免受损伤[36]。蒋红琴[37]在巴美肉羊的饲粮中添加番茄红素后发现其显著降低了肌肉中 MDA 的含量，而 SOD 的活性显著提高，本试验结果与此相似。王娟娟等[38]研究发现，在仔猪饲粮中添加无抗生物发酵饲料能够显著提高仔猪血液中 SOD 的活性，增强仔猪机体自由基清除能力，有助于提高仔猪的抗应激能力。本次试验中，与 G1 组相比，G2 组杜寒杂交肉羊腹部皮下、尾部和肾周脂肪组织中 MDA 的含量显著降低，而 SOD 的活性显著升高；G3 组除了尾部脂肪组织中 SOD 的活性无显著变化外，肾周和腹部皮下脂肪组织中 SOD 的活性均显著升高，MDA 的含量显著下降。这表明这 2 种饲料添加剂对肉羊体脂氧化稳定性都有提高作用。益生菌具有抗氧化活性[39]，这可能是补饲微生物发酵饲料组肉羊体脂抗氧化性能提高的主要原因。补饲沙葱粉组肉羊的脂肪品质较对照组得到改善，其可能的原因是，天然植物沙葱中含有黄酮、多糖以及萜烯类化合物等生物学活性成分[40]，这些成分都具有一定的抗氧化作用，其机理主要是在脂质氧化的不同阶段，这些活性成分起到还原剂、阻滞剂和螯合剂的作用，从而终止链反应的某个环节，降低链反应速度或者俘获链反应自由基来干扰链增殖，进而起到保护脂肪细胞的作用[41]。

3.4　PUFA 沉积量与羊肉脂肪氧化性能的关系

由于 PUFA 是脂质氧化反应的首选底物，所以在肉类的脂质氧化中起着非常关键的作用[42]。肉类产品中 PUFA 之所以容易被氧化降解是因为其具有很高的磷脂亲和力，会引发酶促氧化反应，参与的底物主要为 C20:4n-6 和 C18:2*cis*-6 等[43]。在贮藏的过程中，脂质氧化不仅会使羊肉产生不良风味，而且会降低其营养价值[44]。Lee 等[45]研究发现，在腊肠的加工过程中，以 MDA 为主的醛类氧化产物明显增加，而 PUFA 的含量则有下降的趋势。有学者对乌珠穆沁羊背最长肌 PUFA 的沉积量与 MDA 含量以及 SOD 和谷胱甘肽过氧化物酶

(GSH-Px)活性进行多元回归分析后发现，MDA 和 GSH-Px 对回归方程的贡献为负增加，而 SOD 为正增加[46]，这与本试验结果相似。本试验多元回归分析结果进一步说明，肉羊脂肪组织中 PUFA 沉积量与脂质过氧化物 MDA 含量和抗氧化物 SOD 活性密切相关，可以通过降低肉羊脂肪组织中 MDA 含量以及提高 SOD 活性的方式，提高肉羊机体 PUFA 的沉积量。饲粮添加沙葱粉和微生物发酵饲料能够有效降低杜寒杂交肉羊各部位脂肪组织中 MDA 的含量，表明饲喂含有沙葱粉和微生物发酵饲料饲粮的杜寒杂交肉羊其脂质抗氧化性能优于对照组，进而有利于延长其货架期。

4 结 论

① 饲粮中添加沙葱粉和生物发酵饲料能够提高舍饲杜寒杂交肉羊平均日增重，降低料重比，进而提高生长性能。

② 饲粮中添加沙葱粉能够有效改善舍饲杜寒杂交肉羊体脂脂肪酸组成，并可提高脂肪的氧化稳定性，改善脂肪品质。

③ 饲粮中添加微生物发酵饲料对舍饲杜寒杂交肉羊体脂脂肪酸组成改善效果欠佳，但可提高脂肪的氧化稳定性。

参考文献:

[1] WEBB E C,ERASMUS L J.The effect of production system and management practices on the quality of meat products from ruminant livestock[J].South African Journal of Animal Science,2013,43(3):413–423.

[2] 董志录.嘉峪关市肉羊产业可持续发展的对策分析[J].畜牧兽医杂志,2016,35(2):76–77,80.

[3] WATKINS P J,KEARNEY G,ROSE G,et al.Effect of branched-chain fatty acids,3-methylindole and 4-methylphenol on consumer sensory scores of grilled lamb meat[J].Meat Science,2014,96(2):1088–1094.

[4] KUMAR S,MENDIRATTA S K,AGRAWAL R K,et al.Anti-oxidant and anti-microbial

properties of mutton nuggets incorporated with blends of essential oils[J].Journal of Food Science and Technology,2018,55(2):821–832.

[5] TURHAN S,SARICAOGLU F T,MORTAS M,et al.Evaluation of color,lipid oxidation and microbial quality in meatballs formulated with bee pollen during frozen storage[J].Journal of Food Processing and Preservation,2017,41(3):e12916.

[6] SOHAIB M,ANJUM F M,ARSHAD M S,et al.Oxidative stability and lipid oxidation flavoring volatiles in antioxidants treated chicken meat patties during storage[J].Lipids in Health and Disease,2017,16:27.

[7] RAEFSKY S M,RAN F,MILNE G,et al.Deuterated polyunsaturated fatty acids reduce brain lipid peroxidation and hippocampal amyloid β-peptide levels,without discernable behavioral effects in an APP/PS1 mutant transgenic mouse model of Alzheimer's disease[J].Neurobiology of Aging,2018,66:165–176.

[8] LEUNG K S,CHAN H F,LEUNG H H,et al.Short-time UVA exposure to human keratinocytes instigated polyunsaturated fatty acid without inducing lipid peroxidation[J].Free Radical Research,2017,51(3):269–280.

[9] COOMBS C E O,HOLMAN B W B,FRIEND M A,et al.Long-term red meat preservation using chilled and frozen storage combinations:a review[J].Meat Science,2017,125:84–94.

[10] 张玉斌,郇晶晶,刘金鑫,等.天然抗氧化剂对冷却藏羊肉贮藏过程中脂质氧化影响的研究[J].中国食品工业,2017(8):52–56.

[11] ROSSI R,PASTORELLI G,CANNATA S,et al.Effect of long term dietary supplementation with plant extract on carcass characteristics meat quality and oxidative stability in pork[J].Meat Science,2013,95(3):542–548.

[12] YAZDI F T,GOLIAN A,ZARGHI H,et al.Effect of wheat-soy diet nutrient density and

guanidine acetic acid supplementation on performance and energy metabolism in broiler chickens[J].Italian Journal of Animal Science,2017,16(4):593–600.

[13] 张建贵.沙葱驯化的种植技术[J].林业科技通讯,2016(10):75–76.

[14] 木其尔,敖长金,萨茹丽,等.沙葱总黄酮对肉羊抗氧化能力的影响[J].动物营养学报,2016,28(6):1823–1831.

[15] 赵春艳,敖长金,缪亚娟,等.沙葱黄酮对小鼠抗氧化能力的影响[J].饲料工业,2009,30(24):10–13.

[16] 曹志军,敖长金,刘敏,等.沙葱提取物对羊肉食用品质影响的研究[J].食品工业,2011(5):59–62.

[17] 赵国芬,敖长金,赵志恭,等.沙葱和油籽对羊肉中 CLA 和 PUFA 含量的影响[J].饲料工业,2008,29(17):35–37.

[18] 张巧娥.沙葱提取物的分离鉴定及其对绵羊消化道共轭亚油酸含量和胴体脂肪沉积影响的研究[D].博士学位论文.呼和浩特:内蒙古农业大学,2007:45–48.

[19] 王莉梅.全混合发酵饲料对羊肉品质的影响[D].硕士学位论文.呼和浩特:内蒙古农业大学,2013:11–15.

[20] LIN B S,LUO J, LI Y M,et al.Research on the effect of microbial fermentation feeds on slaughter performance and meat quality in pig with large-scale feeding[J].Agricultural Science & Technology,2016,17(10):2329–2331.

[21] 卢媛.沙葱、地椒风味活性成分及其对绵羊瘤胃发酵和羊肉风味的影响[D].硕士学位论文.呼和浩特:内蒙古农业大学,2002:32–35.

[22] 贾鹏,万凡,马涛,等.饲粮中添加不同生物制剂对杜寒杂交肉羊生产性能和屠宰性能的影响[J].动物营养学报,2017,29(12):4621–4631.

[23] MIRZAEI-ALAMOUTI H,MORADI S,SHAHALIZADEH Z,et al.Both monensin and plant

extract alter ruminal fermentation in sheep but only monensin affects the expression of genes involved in acid-base transport of the ruminal epithelium[J].Animal Feed Science and Technology,2016,219:132–143.

[24] RANI Z T,NANTAPO C W T,HUGO A,et al.Factors affecting the physico-chemical quality and fatty acid profiles of mutton at point of purchase in the Eastern Cape province,South Africa[J].Archivos Latinoamericanos de Producción Animal,2014,12:17–19.

[25] AL-AMER S,BEKHIT E D A,GOONERATNE R,et al.Nutritional composition of Mutton bird (*Puffinus griseus*) meat[J].Journal of Food Composition and Analysis,2016,46:22–28.

[26] 陈仁伟.沙葱黄酮对肉羊生产性能及其肉品质的影响[D].硕士学位论文.呼和浩特:内蒙古农业大学,2016:34–35.

[27] VAN LEEUWEN K A,CAMIN F,JERÓNIMO E,et al.Dietary effects on stable carbon isotope composition of fatty acids in polar and neutral fractions of intramuscular fat of lambs[J].Journal of Agricultural and Food Chemistry,2017,65(43):9404–9411.

[28] BUCCIONI A,RAPACCINI S,ANTONGIOVANNI M,et al.Conjugated linoleic acid and C18:1 isomers content in milk fat of sheep and their transfer to Pecorino Toscano cheese[J].International Dairy Journal,2010,20(3):190–194.

[29] COTTIN S C,ALSALEH A,SANDERS T A B,et al.Lack of effect of supplementation with EPA or DHA on platelet-monocyte aggregates and vascular function in healthy men[J].Nutrition,Metabolism and Cardiovascular Diseases,2016,26(8):743–751.

[30] 李艳,周玉香,罗海玲,等.7种羊肉风味植物中脂肪酸成分分析[J].畜牧与兽医,2012,44(8):49–51.

[31] RAMPRASATH V R,EYAL I,ZCHUT S,et al.Supplementation of krill oil with high phospholipid content increases sum of EPA and DHA in erythrocytes compared with low

phospholipid krill oil[J].Lipids in Health & Disease,2014,14:142.

[32] 赵国芬,敖长金,赵志恭,等.沙葱和油籽对羊肉脂肪酸组成的影响[J].黑龙江畜牧兽医,2008(3):46–49.

[33] Liorančas V,Bakutis B.Effect of organic rearing system on pork quality and preference[C]//Proceedings of 13th International Congress in Animal Hygiene.Tartu,Estonia,2007.

[34] IGGMAN D,RISÉÉRUS U.Role of different dietary saturated fatty acids for cardiometabolic risk[J].Clinical Lipidology,2011,6(2):209–223..

[35] 周立红,张铁梅.脂肪组织生物学功能的研究进展[J].国际老年医学杂志,2006,27(2):83–86.

[36] WATKINS P J,FRANK D,SINGH T K,et al.Sheepmeat flavor and the effect of different feeding systems:a review[J].Journal of Agricultural and Food Chemistry,2013,61(15):3561–3579.

[37] 蒋红琴.番茄红素对巴美肉羊肉品质的影响及其抗氧化机理研究[D].博士学位论文.北京:中国农业大学,2015:64–66.

[38] 王娟娟,王顺喜,陆文清,等.无抗生素微生物发酵饲料对仔猪免疫及抗氧化功能的影响[J].中国饲料,2011(16):25–27,30.

[39] BASAK E,AYDIN F A,TURGAY E,et al.Antioxidant effects of probiotics in experimentally induced peritonitis[J].Surgical Infections,2016,17(1):114–115.

[40] 敖长金.沙葱化学成分及其生物学功能研究进展[J].饲料工业,2010(18):1–5.

[41] AL-RASHEED N M,FADDA L M,ALI H M,et al.New mechanism in the modulation of carbon tetrachloride hepatotoxicity in rats using different natural antioxidants[J].Toxicology Methods,2016,26(4):243–250.

[42] GOBERT M,GRUFFAT D,HABEANU M,et al.Plant extracts combined with vitamin E in

PUFA-rich diets of cull cows protect processed beef against lipid oxidation[J].Meat Science,2010,85(4):676–683.

[43] VIGOR C,BERTRAND-MICHEL J,PINOT E,et al.Non-enzymatic lipid oxidation products in biological systems:assessment of the metabolites from polyunsaturated fatty acids[J].Journal of Chromatography B,2014,964:65–78.

[44] 吴宝森,孙玥晖,刘姝韵,等.肉和肉制品中脂质氧化的研究进展[J].食品安全质量检测学报,2017,8(3):814–818.

[45] LEE J Y,KUNZ B.The antioxidant properties of baechu-kimchi and freeze-dried kimchi-powder in fermented sausages[J].Meat Science,2005,69(4):741–747.

[46] LUCIANO G,BIONDI L,PAGANO R I,et al.The restriction of grazing duration does not compromise lamb meat colour and oxidative stability[J].Meat Science,2012,92(1):30–35.

Effects of Different Feed additives on Fatty Acid Composition and Oxidation Stability of Body Fat in Dorper×Thin-Tailed *Han* Crossbred Mutton Lambs

LIU Wangjing[1] AO Changjin* DING He Khaserdene DAN Ni LI Shuyi LI Ying ZHANG Zuozhong

(*College of animal science, Inner Mongolia Agricultural University, Hohhot 010018, China*)

Abstract: The objective of this experiment was to investigate the effects of different feed additives on fatty acid composition and oxidation stability of body fat in Dorper×thin-tailed *Han* crossbred mutton lambs. Single factor completely randomized block design was used in the current study. A total of 30 healthy and six-month-old Dorper×thin-tailed *Han* crossbred mutton lambs with similar body weight [(42.5±3.1) kg] were randomly divided into 3 groups with 10 lambs each. Lambs in control group (G1 group) were fed a basal diet, those in experimental group 1 (G2 group) were fed the basal diet supplemented with *Allium mongolicum* Regel powder (20 g/d each lamb), and those in experimental group 2 (G3 group) were fed the basal diet supplemented with microbial fermented feed (100 g/d each lamb). The trial period lasted for 75 d, which consisted of 15 d of per-feeding period and 60 d of formal period. At the end of feeding experiment, three lambs were randomly selected from each group and slaughtered to collect the perirenal adipose tissue, abdominal subcutaneous adipose tissue and tail adipose tissue to measure fatty acid composition, malondialdehyde (MDA) content and superoxide dismutase (SOD) activity. The results showed as

*Corresponding author, professor, E-mail: changjinao@aliyun.com （责任编辑 菅景颖）

follows: compared with G1 group, 1) G2 group and G3 group showed significantly higher average daily gain and significantly lower feed to gain ratio of mutton lambs ($P<0.05$). 2) G2 group showed significantly higher the contents of linoleic acid (C18:2*cis*-6), α-linolenic acid (C18:3n-3), eicosapentaenoic acid (EPA, C20:5n-3), docosahexaenoic acid (DHA, C22:6n-3), polyunsaturated fatty acids（PUFA）, n-6 PUFA and the value of PUFA/saturated fatty acid（SFA）($P<0.05$) and significantly lower the content of C18:0 in the perirenal adipose tissue, abdominal subcutaneous adipose tissue and tail adipose tissue ($P<0.05$); G3 group showed significantly higher DHA content in the abdominal subcutaneous adipose tissue and tail adipose tissue ($P<0.05$), and showed significantly lower the contents of monounsaturated fatty acids (MUFA) and C18:0 in the perirenal adipose tissue ($P<0.05$). 3) The contents of n-6 PUFA and the value of n-6/n-3 in the tail adipose tissue in G2 group and G3 group were significantly increased ($P<0.05$), the content of n-3 PUFA in the perirenal adipose tissue in G2 group was significantly increased ($P<0.05$), and the value of PUFA/SFA in the perirenal adipose tissue in G3 group was significantly decreased ($P<0.05$). 4) G2 group and G3 group significantly up-regulated the SOD activity and significantly down-regulated the MDA content in the perirenal adipose tissue and abdominal subcutaneous adipose tissue ($P<0.05$). 5) There were linear relationships between the MDA content, SOD activity and PUFA content ($P<0.001$) in the perirenal adipose tissue ($R^2=0.992$), abdominal subcutaneous adipose tissue ($R^2=0.967$) and tail adipose tissue ($R^2=0.965$). The contribution of MDA was negative for the multiple regression equation, whereas the SOD was positive. In conclusion, diet supplemented with *Allium mongilicum* Regel powder and microbial fermented feed both can improve the growth performance of Dorper×thin-tailed *Han* crossbred mutton lambs. Diet supplemented with *Allium mongilicum* Regel powder can improve the fatty acid composition and fat oxidative stability effectively, which is significant in improving the fat quality of Dorper×thin-tailed *Han* crossbred mutton lambs. Diet supplemented with microbial fermented feed cannot improve the fatty acid composition effectively, but can increase the fat oxidative stability of Dorper×thin-tailed *Han* crossbred mutton lambs.

Key words: feed additives; mutton lamb; fat quality; antioxidant; oxidation stability; polyunsaturated fatty acids